

복잡한 의사결정과 협상 환경을 위한 에이전트 기반 시스템: 가상생산 응용

Agent-based System for Complex Decision Making and Negotiation: Application to Virtual Manufacturing

이 경 전 (Kyoung Jun Lee)	서울대학교 행정대학원
장 용 식 (Yong Sik Chang)	(사)국제전자상거래연구센터
최 형 림 (Hyung Rim Choi)	동아대학교 경영정보학과
김 현 수 (Hyun Soo Kim)	동아대학교 경영정보학과
박 영 재 (Young Jae Park)	동아대학교 경영정보학과
박 병 주 (Byung Joo Park)	동아대학교 경영정보학과

요 약

복잡한 의사결정과 협상 환경을 위한 에이전트 기반 시스템은 환경에 대한 감지 및 반응이라는 간단한 작동방식을 가지는 다중 에이전트 시스템과는 다르게 접근되어야 한다. 본 논문에서는 가상 생산 환경을 응용 분야로 하여 복잡한 의사결정과 협상 환경을 위한 다중에이전트 시스템을 구현하는 과정에서 발생하는 연구이슈를 정리하고, 이들을 해결하는 하나의 사례를 제시한다. 가상 생산 환경은 다수 조직의 존재, 자원제약의 문제, 시간이 제한된 상황에서의 일정 계획 문제 등 복잡한 의사결정과 협상 환경의 전형적인 요소를 가지고 있다. 이 문제를 해결하기 위해서, 본 연구는 시간제약하에서의 외부협상 및 내부협력을 위한 프로토콜을 개발하고, 실세계의 시간제약을 만족하는 범위에서 최적화모형과 휴리스틱모형을 상황적으로 적용하는 체계를 제시하며, 에이전트간의 소통 메시지를 이들 의사결정모형으로 모형화하는 과정을 예시한다.

키워드: 가상생산기업, 다중에이전트, 시간제한협상

I. 서 론

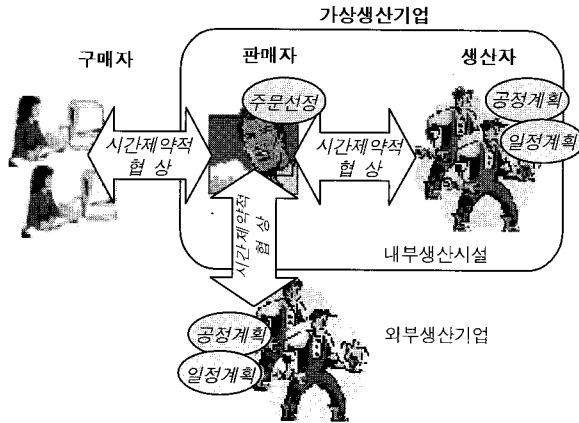
가상기업이란 상품이나 서비스 생산을 목적으로 비용과 자원을 공유하는 여러 사업 협력자들로 이루어진 조직(Turban 등, 2001)이라고 정의될 수 있다. <그림 1>과 같이 판매자와 생산자로 이루어진 가상생산기업을 생각해보자.

다수의 구매자와 생산기업이 경쟁적으로 존재하는 경우 일반적으로 구매자는 생산기업의 판매자에게 입찰공고하고 다수의 입찰 중에서 최적입찰을 선정하여

계약한다. 판매자는 구매자로부터 입찰요청(RFB)을 받고, 여러 입찰요청 중에서 배달조건, 생산일정, 자원 제약 등을 고려하여 이익 극대화를 위한 최적 입찰요청을 선정하여 구매자에게 입찰을 한다. 판매자는 생산자로부터 생산가능성을 포함한 프로세스 계획에 대한 정보를 받아 모형에 반영한다.

가상생산기업은 대개 조직 내부적으로 생산시설을 가지고 있기도 하지만, 동시에 외부의 생산조직과 관계를 가지고 있다. 가상생산기업이 구매자로부터 들어온 주문을 기술적 능력 또는 자원의 한계 등으로 수

용할 수 없는 경우, 외부의 생산조직에 입찰을 공고함으로써 협상을 시작한다.



〈그림 1〉 가상생산기업의 의사결정 환경

인터넷과 오픈 시스템 구조의 발달은 지속적으로 거래비용을 낮출 것이며, 이에 따라 판매조직과 생산조직 사이의 관계가 장기적이고 전략적 관계에서 단기적 계약적 관계로 변할 것이라는 논의가 있었다 (Malone 등, 1987). 이에 대한 반론 역시 존재하나(Clemons 등, 1993; Bakos, Brynjolfsson, 1997), 본 논문은 자신의 목적을 위하여 일시적이며 유연한 네트워크를 가지는 가상생산기업이 존재한다고 전제하고, 이들 가상기업을 위해 작동하는 에이전트 시스템을 설계 구현하는 방법론을 개발하는 데에 그 목적이 있다.

에이전트 기반 시스템은, 각 에이전트가 고유의 의사결정 기능을 가지고 있으며, 각 시스템들이 에이전트 인터페이스를 통해 경쟁, 협력, 의사소통을 한다. 가상생산기업의 에이전트 시스템 설계에서 고려해야 할 중요한 것 중의 하나는 현실적으로 각 개체들이 시간제약하에 있다는 것이다. 이것은 의사결정모형의 선정과 외부협상 및 내부협력 프로세스를 위한 프로토콜 설계에 영향을 미친다. 인간들 사이에서의 협상은 시간제약이 암묵적으로 가정되기 때문에 협상과정에서 시간제약을 명시적으로 표현하지 않아도 되지만, 자동적으로 이루어지는 다수 에이전트간 협상 및 협력 프로토콜 설계에서는 이를 명시적으로 표현하고

의사결정과정에서 이를 명확히 고려해야 한다.

가상생산기업 에이전트 시스템의 복잡한 의사결정 모형과 협상 및 협력 프로토콜 연구가 각각의 실험적 연구로 끝나지 않고, 통합된 설계구조로 기업에 유용하게 적용되는 시스템을 제시하기 위하여 다음과 같이 논문을 구성하였다. II장에서 에이전트의 기본구조를 설명하고, III장에서 에이전트 기반 시스템으로서 가상생산기업의 특성을 설명한다. IV장에서는 가상생산환경에서의 외부협상과 내부협력 프로토콜, V장에서는 에이전트의 의사결정모형 선정전략을 제시한다. VI장에서는 가상생산기업 에이전트의 통합구조를 제시하여 현실적 유용성을 보인다.

II. 복잡한 의사결정과 협상을 위한 에이전트의 기본구조

복잡한 의사결정을 내리면서 동시에 다른 에이전트와 협상을 하는 에이전트 기반 시스템을 개발하기 위한 기본 요소로는 <표 1>과 같이 지식표현, 의사소통 언어와 프로토콜, 심사숙고를 위한 일정계획, 인간-에이전트 인터페이스 등이 있다.

2.1 에이전트의 지식표현

서로 협력, 경쟁, 협상하는 에이전트들간에 지식 교환 및 언어 공유의 문제는 에이전트 분야의 중요한 문제가 되므로, 이 부분에 대한 연구가 지속적으로 진행되어왔으나, 현실 응용 분야에서 적용될 수준의 온톨로지 개발은 아직 어려운 수준이고 향후에도 많은 에이전트들간에 공유할 온톨로지가 나타날 수 있겠는가 하는 점은 논쟁의 여지가 있다(Ginsberg, 1991; O'leary, 1997). 에이전트의 지식 표현을 표준화하는 노력으로서 KIF(Knowledge Interface Format: Genesereth 등, 1990) 등이 있었으나, 현실 시스템에 적용되지는 못하였고, 최근에는 Semantic Web을 위한 노력의 일환으로 DAML(DARPA Agent Manipulation Language, daml.org)와 OIL(Fensel 등, 2001)이라는 온톨로지가 여러 수준에서 제시되고 있는 상황이다.

〈표 1〉 복잡한 의사결정 및 협상을 위한 에이전트 기본 요소

구 조	설 명	주요 연구의 예
지 식 표 현	에이전트는 자체의 코드화된 지식을 가지고 있으며, 다른 에이전트와 그 지식을 공유할 수 있기 위해서는 어느 정도 표준화된 지식의 표현방법과 보통 온톨로지(ontology)라고 불리는 표준 어휘 체계가 필요하다.	<ul style="list-style-type: none"> • KIF(Genesereth 등, 1990) • DAML(daml.org) • OIL(Fensel 등, 2001)
의사소통 언어	다른 에이전트들과 의사소통하기 위해서는 특정 분야 또는 보다 일반적인 분야의 에이전트를 위한 의사소통 언어가 필요하다.	<ul style="list-style-type: none"> • KQML(Finin 등, 1995) • FIPA(fipa.org)
의 사 소 통 프로 토 콜	에이전트들간의 의사소통을 위해서 특정 분야 또는 보다 일반적인 분야를 위한 의사소통 프로토콜이 필요하며, 이 프로토콜은 에이전트간의 협력, 경쟁, 협상에서 일어나는 상호작용을 포괄적으로 지원할 필요가 있다.	<ul style="list-style-type: none"> • Contract Net Protocol(Smith, 1980) • Contract Net Protocol의 확장(Sandholm, Lesser, 1995; Lee 등, 2000) • Gnutella(Kan 2001) • JXTA(Gong, 2001)
심사숙고를 위한 일 정 계 획 (deliberation scheduling)	외부 환경에서 계속적으로 발생하는 이벤트(예를 들어 다른 에이전트의 요청이나 응답)에 대해 이들 작업들을 일정계획하고 적절히 자신의 자원을 분배하는 작업이 시간적 제약하에서 결정되고 진행되기 위해서는 일종의 anytime 알고리즘 기반의 심사숙고를 위한 일정계획 기능을 가지고 있을 필요가 있게 된다.	<ul style="list-style-type: none"> • Steinmetz 등(1998) • Sadeh 등(2000) • 최적주문선정 모형(Lee 등, 2001)
인간-에이전트 인터페이스	이 인터페이스를 통해 인간은 에이전트에게 명령을 내리거나 다른 에이전트와의 협력, 경쟁, 협상 전략 등을 설정할 수 있다.	<ul style="list-style-type: none"> • Maes(1994) • Lewis(1998)

2.2 에이전트의 의사소통 언어

에이전트간의 의사소통을 위해 개발된 대표적인 언어로는 KQML(Knowledge Query Manipulation Language: Finin 등, 1995)이 있는데, 이는 에이전트간에 교환되는 메시지를 Speech-Act 이론에 근거하여 개발한 것이다. 한편 KQML에 기반하여 에이전트 의사소통 언어의 표준화를 이루기 위한 기구인 FIPA(The Foundation for Intelligent Physical Agents, fipa.org)가 설립되어 표준화 노력을 계속하고 있으나, 이들 표준 역시 현실 응용에는 널리 사용되지 않고 있는 상황이다.

2.3 에이전트의 의사소통 프로토콜

Contract Net Protocol(Smith, 1980)은 KQML이전에 개발된 일종의 협상 프로토콜로서 지금도 많은 다

중 에이전트 연구에서 근간이 되는 프로토콜이다. 이 프로토콜은 관리자 에이전트와 계약자 에이전트간의 네가지 종류의 메시지를 기반으로 한다. 먼저 관리자 에이전트가 작업에 대한 공지(task announcement) 메시지를 계약자 에이전트에 보내면, 계약자 에이전트는 이에 대한 입찰(bidding) 메시지를 보내며, 이를 다수 에이전트로부터 받은 관리자 에이전트는 적절한 계약자 에이전트에 계약체결(awarding) 메시지를 보내고, 이를 받은 계약자 에이전트는 이에 대해 확인(acknowledge) 메시지를 보내는 매우 간단한 구조로 되어 있다. 너무 간단해서 이후 많은 후속 연구에서 그 확장이 시도되어왔는데(Sandholm, Lesser, 1995; Lee 등, 2000), 에이전트간의 협력, 경쟁, 협상을 위한 프로토콜의 기본이 되는 구조라고 판단된다.

한편, 에이전트 연구자들에 의해 개발되지는 않았지만, P2P(peer-to-peer) 네트워킹 분야에서 개발되어 파일

공유 분야의 애플리케이션에 사용되고 있는 Gnutella 프로토콜을 참고할 만하다(Kan 2001). Gnutella 프로토콜은 특정한 서버의 존재없이 순수한 peer 들간의 의사소통을 위한 프로토콜로 그 성격이 에이전트의 의사소통 프로토콜과 유사하다. Gnutella 프로토콜은 Ping, Pong, Query, QueryHit, Push의 5가지의 메시지로 구성되어 있는데, Ping은 의사소통할 Peer(Agent)가 현재 네트워크에 있는지를 확인하는 메시지고, Pong은 Ping에 대한 답신 메시지이다. Query는 특정 정보를 가진 Peer가 있는지 검색하기 위한 메시지고, QueryHit는 이에 대한 답신 메시지이다. Push는 정보를 가진 Peer에게 그 정보를 보내달라고 요청하는 메시지이다. 이렇게 간단한 구조로 되어 있는 Gnutella 프로토콜은 현재 Sun Microsystems의 JXTA 프로젝트(jxta.org)의 근간으로 사용되고 있는데, JXTA는 P2P 네트워킹 환경을 위한 여섯 가지의 프로토콜(Peer Discovery, Peer Resolver, Peer Information, Peer Membership, Pipe Binding, Endpoint Routing Protocol)을 기반으로 되어 있다(Gong, 2001). JXTA는 그 자체로 에이전트를 위한 프로토콜임을 표방하고 있지는 않으나 향후 현실적인 대안중의 하나가 될 것으로 판단된다.

전통적인 에이전트 프로토콜과 P2P 프로토콜의 전형적인 차이는 메시지를 동배(Peer)간에 라우팅할 가능성을 고려하는가 그렇지 않은가에 달려 있다. 즉, 일반적인 에이전트 프로토콜은 특정 에이전트에게 보낸 메시지가 또 다른 에이전트로 라우팅될 가능성을 고려하지 않고 설계된 것이 대부분이라면, P2P 프로토콜들은 대부분 그러한 기능을 기본적으로 채택하고 있다. 따라서, Gnutella과 Freenet 등의 대표적인 P2P 프로토콜에서는 반복적으로 메시지가 라우팅되는 것을 방지하기 위해서 메시지에 TTL(time-to-live)과 GUID(Global Unique Identifier)를 붙여서 메시지의 라우팅 횟수의 상한선을 설정할 수 있게 하고, 라우팅에 있어 순환이 일어나지 않도록 장치를 제공하고 있다.

2.4 에이전트의 Deliberation Scheduling

에이전트는 외부 환경에서 계속적으로 들어오는 메

시지들을 자신의 메시지 큐에 보관하고, 이들 작업을 어떠한 순서로 처리할 것인지에 대한 계획을 동적으로 수립해야 한다. 에이전트는 작업수행 일정과 현재 자신이 가지고 있는 자원을 가지고, 적절히 자신의 자원을 배분하는 기능을 내부적으로 가지게 되는데, 중요한 것은 이들 작업의 대부분 역시 시간적인 제약하에서 이루어지게 된다는 점이다. 따라서, 에이전트는 일종의 anytime algorithm기반의 deliberation scheduling 기능을 가지고 있을 필요가 있게 되며, 에이전트간의 협상메시지는 이를 반영할 필요가 있다.

Lee 등(2000)은 에이전트간의 협상 메시지 각각에 일종의 시간 제한이라는 개념을 추가함으로써, 각 메시지가 유효한 시간을 명시적으로 부여하고 이에 따른 의미를 정립하였다. 이렇게 유효 시간이 제한되어 있는 메시지를 받은 에이전트들은 메시지의 시급성과 메시지를 처리하는 비용과 편익을 고려하여 최적화된 의사결정을 해야 하고, 이때의 의사결정 알고리즘은 계산을 도중에 멈추어도 어느 정도의 성과를 나타내는 이른바 anytime 알고리즘의 특성을 가지는지 확인할 필요가 있다. Lee 등(2001)은 일정계획을 하는 가상생산 에이전트에 사용되는 유전알고리즘을 개발하여, 이 유전알고리즘이 anytime 알고리즘의 특성을 가짐을 확인함으로써, 시간제한이 부여된 에이전트의 의사결정모형 개발 사례를 제시하였다.

Ⅲ. 가상생산 환경의 특성과 에이전트의 의사결정모형

에이전트 기반 시스템의 관점으로 보면, 가상생산 기업은 외부의 구매에이전트와 협상하는 판매에이전트와 상품 또는 서비스를 생산, 공급하는 내외부의 생산에이전트로 구성된다. 가상생산기업을 위한 에이전트시스템의 시나리오는 다음과 같다.

- (1) 구매에이전트: 가격, 품질, 배달조건 등의 기준을 포함한 입찰공고를 다수의 판매에이전트에게 보낸다.

- (2) 판매에이전트: 입찰공고 내용을 만족하는 상품이 생산 가능한지 생산에이전트에게 물어본다.
- (3) 생산에이전트: 필요 자원을 확인하고 공정계획을 세워 판매에이전트에게 통보한다.
- (4) 판매에이전트: 생산에이전트로부터 온 제안을 근거로 최적주문을 선정하여 구매에이전트에게 보낸다.
- (5) 구매에이전트: 최적입찰을 선정하여 판매에이전트와 주문계약을 한다.
- (6) 판매에이전트: 계약된 주문을 생산에이전트에게 통보한다.
- (7) 생산에이전트: 일정계획을 수립한다.

이 시나리오상에서 각 에이전트들은 다음과 같은 문제들을 가지게 된다.

- (1) 입찰주기: 판매에이전트는 얼마나 자주 입찰을 처리할 것인가?
- (2) 통신전략: 각 에이전트는 어떤 종류의 시간전략을 사용하여 다른 에이전트와 통신할 것인가?
- (3) 의사결정 모형: 판매에이전트는 이윤 극대화라는 목적함수를 최적화하기 위하여 어떻게 주문을 선정할 것이며, 생산에이전트는 일정계획을 어떻게 할 것인가?
- (4) 신규 요청에 대한 대응: 판매에이전트는 구매자로부터의 새로운 입찰요청, 입찰승인, 입찰승인취소 등과 같은 변화에 대하여 어떻게 대처할 것인가?

이들 이슈들은 서로 연결되어 있으며, 이들은 가상생산기업의 다음 두 가지 특성으로 요약된다.

첫 번째 특성은 자원의 상황이 동적으로 변한다는 사실이다. 에이전트의 협상 프로토콜은 협상 라이프사이클 동안에 자원의 상황이 동적으로 변한다는 사실을 반영하여야 하고, 이를 고려하기 위하여 단순한 Contract Net Protocol로부터 많은 프로토콜이 확장 연구되어왔다(Fisher 등, 1999; Lee, Chang, 1999; Sandholm, Lesser, 1995; Sen, Durfee, 1994). 특히,

시간계약이 심한 상황에서는 시간제한 협상 구조(Time-Bound Negotiation Framework: Lee 등, 2000)가 이용될 수 있다.

TBNF는 약속기간(commitment duration: T)을 가진 메시지를 이용하여 협상하는 구조로, 어떤 메시지의 약속 기간이 $0(T=0)$ 이면, 에이전트는 약속을 하지 않는다는 것을 의미하고, 약속기간이 무한($T=\infty$)하면, 영구히 약속을 지키겠다는 것을 의미한다. 약속기간이 유한($T=\alpha, 0 < \alpha < \infty$)하면, 주어진 기간 동안 약속이 유효함을 의미한다. 즉, α 가 응답 만기 시간을 의미한다. TBNF는 앞에서 제기된 통신전략의 문제를 해결하는데 이용될 수 있다. 만일, 구매자가 약속기간 α 로 판매에이전트에게 요구를 한다면, 판매에이전트는 α 시간 내에 응답하여야 한다. 판매에이전트는 필요하다면 α 보다 짧은 약속기간 β 를 가지고 생산에이전트로부터 의사결정 정보를 받아야 한다. 이 경우, $\alpha - \beta$ 는 판매에이전트가 주문 선정 등 여러 의사결정을 할 수 있는 최대시간이 된다.

가상생산기업의 두 번째 특성은 일정계획모형과 같은 의사결정모형의 다양성과 복잡성이다. 일정계획모형은 입찰주기, 의사결정모형, 신규 요청에 대한 대응 문제와 관련이 있다. 시간계약하의 복잡한 문제의 해결은 일종의 anytime 알고리즘 접근이 요구된다. 예를 들면, MAGNET 프로젝트는 구매자가 자동화된 계약환경에서 여러 입찰을 선정하기 위해 anytime 알고리즘을 이용한다(Steinmetz 등, 1998). MAGNET의 연구와 본 논문의 차이점은 MAGNET은 하부의 자원 계약을 고려하지 않은 의사결정을 하지만, 본 연구는 하부의 자원을 일정계획한 결과를 입찰 선정에 고려한다는 점이 된다. 즉, 두 연구는 의사결정모형에 있어서 차이가 있다.

에이전트의 의사결정모형은 가상생산기업 환경의 구조적 특성에 많이 의존하게 되는데, 판매에이전트의 경우, 일정계획모형은 <표 2>과 같이 분류할 수 있다.

일정계획모형의 선택은 가상생산기업의 조직구조를

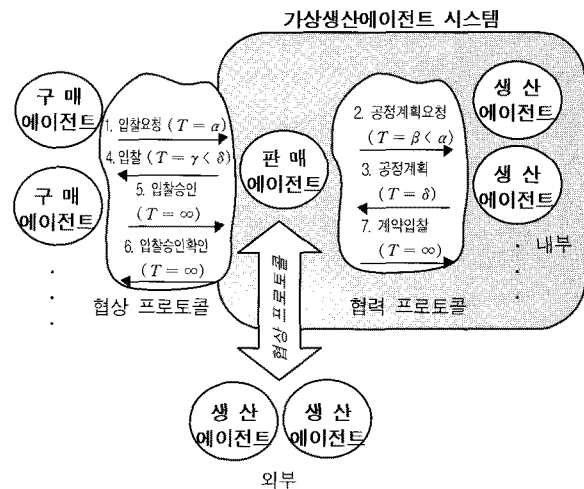
<표 2> 판매에이전트의 의사결정모형 분류

모형	판매 에이전트의 의사결정모형	생산자와의 관계	적용 환경	관련 에이전트
모형 1	일정계획 없음	통신함	• 순수 가상생산기업	MAGNET(Steinmetz 등, 1999)
모형 2	정확한 용량 일정계획	통신하지 않음	• 순수 물리적 생산기업	
모형 3	정확한 용량 일정계획	통신함	• 혼합형 가상생산기업	본 연구
모형 4	대략적 용량 일정계획	통신함	• 순수 가상생산기업 • 혼합형 가상생산기업	MASCOT(Sadeh 등, 2000)

반영한다. 어떠한 내부 생산조직도 없는 순수 가상생산기업은 모형 1과 모형 4를 이용할 수 있다. 내부 생산조직을 가지고 있는 순수 물리적 생산기업은 모형 2를 이용할 수 있을 것이다. 순수 물리적 생산기업의 상황은 에이전트를 이용한 모형화가 비현실적이며 중앙집중적 일정계획이 더 이상적이다. 반면, 내부 생산조직이 있고, 외부 생산자와 협상 가능한 혼합형 가상생산기업은 모형 3 또는 모형 4를 이용할 수 있다. MAGNET은 모형 1에, MASCOT 구조(Sadeh 등, 2000)는 모형 4에 대응한다. MASCOT은 상위 에이전트는 대략적 용량 일정계획모형을, 하위 에이전트는 정확한 일정계획모형을 가지는 구조를 채용하고 있으며, 상위 에이전트가 하위의 에이전트(lower-level agent)와 통신하면서 전체 일정을 조정해 나간다. 본 논문은 상위 에이전트가 정확한 일정계획모형을 가지고 있고, 하위 에이전트는 공정계획을 통해 생산가능성만을 파악하는 구조로, 모형 3에 해당하며, 이 경우의 에이전트간 프로토콜과 판매에이전트의 의사결정모형을 IV장 및 V장에서 서술한다.

IV. 가상생산기업의 외부협상과 내부 협력 프로토콜

가상생산환경에서는 크게 두 가지의 조정 메커니즘이 있다. <그림 2>는 구매에이전트와 가상생산기업의 판매에이전트간 외부협상 프로토콜과 가상생산기업의 판매에이전트와 생산에이전트의 내부협력 프로토콜을 보여준다.



<그림 2> 가상생산기업의 협상 및 협력 프로토콜

4.1 구매에이전트와 판매에이전트간 협상

구매에이전트는 경쟁하는 다수 공급자(가상생산기업)와 협상을 통하여 효용을 최대화(예: 구매 비용 최소화)하고자 한다. 가상생산기업의 판매에이전트는 생산자원용량과 이윤을 고려하여 최적 주문을 선정한다. 본 논문은 입찰요구, 입찰, 입찰승인과 같은 메시지에 약속 기간을 사용한다(Lee 등, 2000). 구매에이전트는 가상생산기업의 판매에이전트에게 입찰요구 메시지를 보내면서 약속기간($T = \alpha$)을 명시한다. 구매에이전트는 이때, 판매에이전트의 여러 입찰 중에 최적의 입찰 선정을 안전하게 하는데 필요한 시간으로 판매에이전트에게 약속 기간($T = \gamma$)을 미리 요구할 수 있다. 한편, 판매에이전트의 입장에서는 구매에이전트가 안전하게 입찰 승인하는 것을 배려하기 위해 입찰시에 약속기간($T = \gamma$)을 제공하여 입찰 승인의 가능성을 높

이고 동시에, 차후 발생할 수 있는 입찰승인에 대한 취소 책임을 줄이는 데에 사용할 수 있다.

4.2 판매에이전트와 생산에이전트간 협동

가상생산기업의 판매에이전트는 구매에이전트의 입찰요청에 대하여 효율적으로 대응하기 위하여 대개 협력적인 관계를 갖는다. 판매에이전트가 α 의 시간제약 내에 입찰을 요구하고 있다면, 판매에이전트는 최적주문 선정에 필요한 정보를 얻기 위하여 생산에이전트에게 β ($\beta < \alpha$)시간 내에 공정계획 수립을 요청한다. 생산에이전트는 생산가능성을 확인하고 공정계획을 세워 β 시간 내에 판매에이전트에게 회신한다. 이 경우 생산에이전트는 자원의 효율적 활용을 위하여 제안한 공정계획의 유효한 기간을 보증하는 확정기간($T = \delta$)을 첨부한다. 간단히 계산해서, 판매에이전트는 $\min(\alpha - \beta, \delta)$ 보다 짧은 심사속고를 위한 시간을 가지게 되며, 입찰시 약속시간 γ 는 δ 보다 짧아야 함을 알 수 있다($\gamma < \delta$). 이렇게 시간제약적인 환경에서, 판매 또는 생산에이전트가 문제를 풀기 위한 모형을 무엇으로 설정할 것인가가 중요하게 된다. 이것은 구매에이전트가 요구한 시간 α , 생산에이전트가 요구한 δ , 모형이 해를 푸는데 걸리는 시간, 주문 및 자원의 시간적 상황 변화에 달려있다. 다음 장에서는 에이전트의 의사결정모형 선정과 그 활용의 예를 제시한다.

V. 에이전트의 의사결정모형 선정전략

에이전트의 의사결정모형은 크게 최적화모형과 휴리스틱모형으로 나눌 수 있다. Lee 등(2001)은 판매에이전트가 생산에이전트의 공정계획을 고려하여 주문선정을 할 수 있는 모형으로 혼합정수모형과 유전알고리즘을 개발 제시하였는데, 본 장에서는 이 두 의사결정모형을 상황적으로 적용하는 체계를 제시하고자 한다.

주문선정을 위한 혼합정수모형은 Manne 모형을 기

반으로 구성하였는데(Manne, 1960), 이 모형은 배달 일정을 만족하면서 선정된 입찰요청에 의한 이익이 최대가 되는 목적함수를 가지고 있다. 혼합정수모형의 경우 최적해가 보장되나, 문제크기(n)가 큰 경우 주어진 시간제한내에 해를 풀지 못하는 경우가 발생한다. 따라서, 시간제약의 상황에서 만족스러운 해를 가지고 협상하기 위해서는 휴리스틱모형의 개발이 필요하다.

유전알고리즘은 최적해를 보장하지는 않지만, 시간이 주어지면 그 시간 내에 어느 정도 진전된 해를 제시해 주는 anytime 알고리즘으로서의 특성을 가지고 있다. 유전알고리즘의 경우 해가 임의의 값으로 초기화 된 상태에서 문제를 푸는 일괄모드(Batch mode)와 이전 상태에서 문제를 푼 결과를 초기치로 선택하여 계속 진행하는 점진모드(Incremental mode)를 사용할 수 있는데, 본 문제를 대상으로 한 실험결과에 의하면 점진모드가 일괄모드에 비해 짧은 시간에 좋은 해를 구할 수 있음을 확인할 수 있었다(Lee 등, 2001).

이렇게 최적화모형과 휴리스틱모형의 두 가지의 의사결정모형을 준비하여 각 모형의 문제 해결 시간에 대한 자료와 지식을 가지고 모형선정 전략을 만들어 낼 수 있다. 특정 문제 크기의 혼합정수모형에서 해를 구하는 시간을 $t(n)^{MIP}$ 라고 하고, <그림 2>에서 생산에이전트가 판매에이전트에게 β' ($\leq \beta$)시간에 공정계획을 보냈다면, 판매에이전트는 주문선정모형을 선택하기 위하여 다음과 같은 모형 선정전략을 사용할 수 있다.

● 주문선정모형의 선정전략

IF $\alpha - \beta' > t(n)^{MIP}$, THEN 혼합정수모형의 최적 주문선정모형 사용.

Otherwise, 유전알고리즘의 주문선정모형 사용.

모형의 선정전략은 판매에이전트가 문제를 풀기에 충분한 시간적 여유가 있으면 혼합정수모형을 이용하여 최적해를 찾고, 그렇지 않은 경우에는 주어진 시간 제약하에서 최선의 해를 찾아주는 유전알고리즘을 이

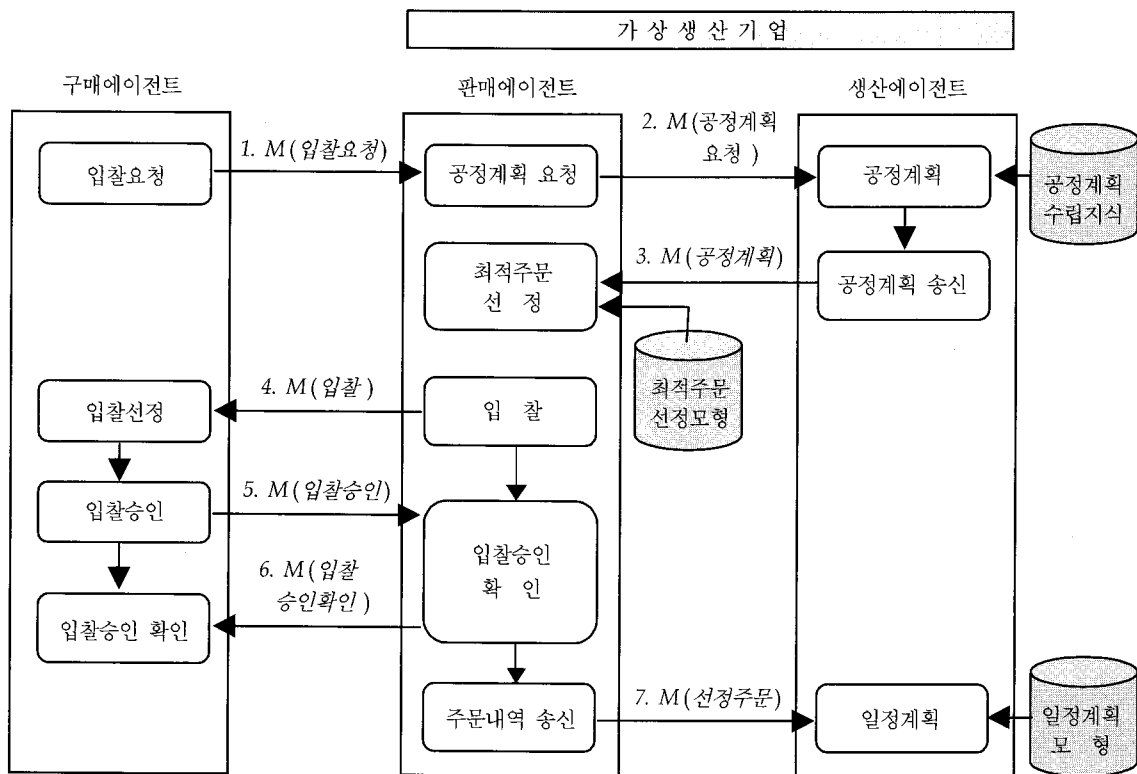
용하여 문제를 푸는 전략으로, 현실적으로 유용하게 이용할 수 있다.

VI. 가상생산기업 에이전트 시스템의 통합구조

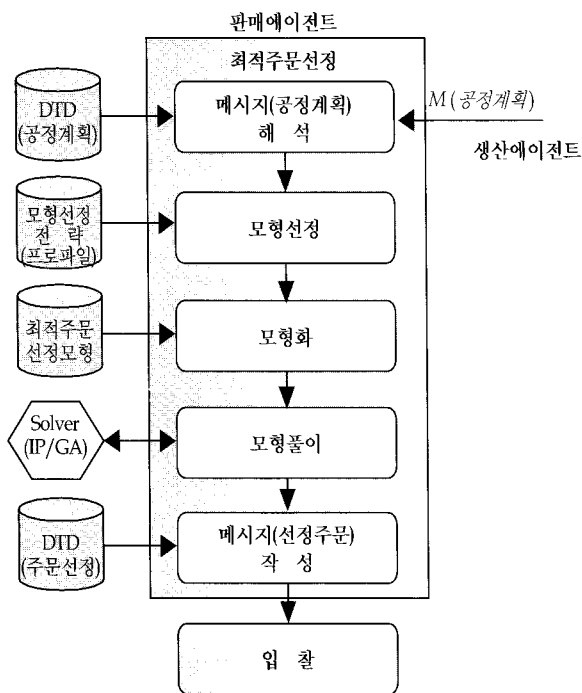
구매에이전트와 가상생산기업의 판매 및 생산에이전트의 구조, 그리고 의사결정 절차가 같이 표시된 시스템 구조는 <그림 3>과 같다. 각 에이전트는 기본적으로 에이전트간 메시지 송수신 및 해석을 위한 기능과 의사결정 지식 또는 모형을 가지고 있다. 각 프로토콜상의 메시지는 “M(메시지명)”으로 표시하였다.

메시지는 eXtensible Markup Language(XML)로 작성하여 통신 가능하며, 시간제약적인 협상 및 협력 프로토콜을 고려한 각 메시지에 대한 Document Type Definition(DTD)이 예시된 바 있다(Lee 등, 2001). 의사결정 과정의 복잡성과 다양한 모형의 존재는 자동 모형화 및 모형관리의 중요성을 인식하게 하는데, 최

근 웹 기반의 허브에서 다양한 모형을 관리하기 위한 모형저장소(Model Warehouse)를 위한 필요성 때문에 그 중요성이 인식되고 있다(Bolloju 등, 2002). 특히, 에이전트에 의한 모형 자동화 프로세스에서는 지식기반의 모형화가 중요하다. AGENT-OPT(Chang, Lee, 2002)는 에이전트간의 메시지를 해석하고 모형을 인식하여 지식기반의 모형화 도구인 UNIK-OPT(Lee, Kim, 1995; Yeom, Lee, 1996)를 이용하여 모형을 자동으로 생성하는 도구인데, 에이전트기반의 가상생산 시스템은 AGENT-OPT와 같은 모형 자동화 도구가 유용하다. 판매에이전트가 생산에이전트로부터 공정계획을 받아 최적 입찰요청을 선정하는 과정은 <그림 4>와 같이 (1) 생산에이전트로부터 온 공정계획 메시지 해석, (2) 문제 및 상황에 따른 모형의 선정, (3) 공정계획 메시지를 바탕으로 최적주문선정보형에 필요한 상수 결정 및 모형화, (4) IP 또는 GA Solver를 이용한 모형의 풀이, (5) 모형의 해를 해석하여 주문선정 결과 메시지를 작성하는 단계로 구성된다.

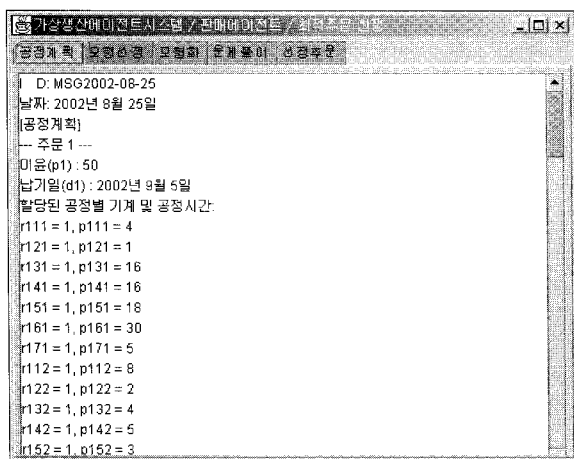


<그림 3> 가상생산기업 에이전트 시스템의 의사결정구조

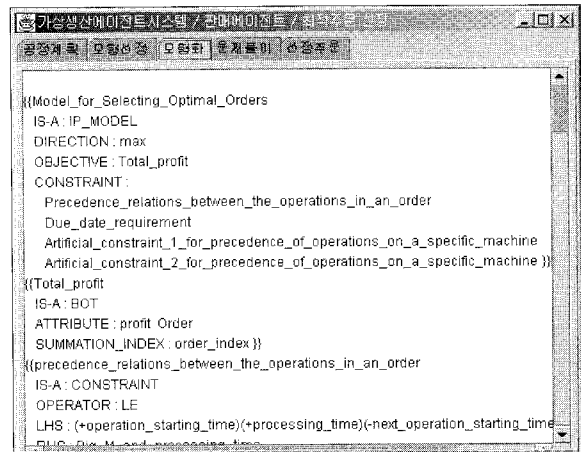


<그림 4> 판매에이전트의 최적주문선정 절차

<그림 5>의 (a)는 판매에이전트의 최적주문선정 과정에서 생산에이전트의 공정계획 메시지로부터 최적주문선정모형의 각 상수에 해당하는 값을 해석한 예이다. 모형화에 필요한 상수는 주문별 이윤 p_i , 주문 납기일 d_i , 주문 i 의 공정 j 가 기계 k 를 거치면 1, 그렇지 않으면 0을 나타내는 r_{ijk} 와 각 경우의 공정시간을 의미하는 p_{ijk} 가 있다. <그림 5>의 (b)는 모형화



(a) 공정계획의 해석



(b) 의미론적 프레임구조로 모형화된 최적주문선정모형

<그림 5> 판매에이전트의 최적주문선정 모형화

선정전략에 따라 모델베이스로부터 UNIK-OPT가 추출한 최적주문선정모형으로서 의미론적인 프레임구조로 표현되어 있다. 이 모형은 목적함수를 최대화하며, 4개의 제약조건들, 즉, 주문간 우선순위 관계, 납품기한, 기계가동 우선순위를 위한 제약조건들로 구성되어 있다. 각 상수 값을 대입하여 의미론적 표현의 모형을 수학적 표현의 최적주문선정모형(Lee 등, 2001)으로 변형하고 ILOG 또는 Lindo 등과 같은 IP Solver를 이용하여 최적주문을 선정한다.

VII. 결 론

가상생산은 에이전트 기반 시스템 연구에서 매우 흥미로운 분야이다. 가상생산기업 자체가 안고 있는 속성인 동적인 특성과 복잡한 의사결정을 반영하기 위하여 적절한 협상 및 협력 프로토콜과 의사결정모형이 개발되어야 하는데, 본 논문은 가상생산기업의 판매 및 생산에이전트가 공동으로 안고 있는 위의 속성을 효과적으로 처리할 수 있는 통합구조를 제시하였다. 가상생산기업의 외부협상 프로토콜과 내부협력 프로토콜을 위하여 시간제한 협상구조를, 일정계획을 고려한 최적 입찰요청 선정을 위해서 최적화모형과 휴리스틱을 상황적으로 적용하는 체계를 제시하고, 에이

전트간 메시지를 이들 의사결정모형에 반영하는 방법론을 제시하였다. 본 논문과 같은 사례 연구를 통해 현실 응용 환경에서 복잡한 의사결정을 하면서 협상, 협력하는 시스템을 개발하는데 많은 참고가 될 수 있을 것으로 예상된다. 향후의 주요한 연구 주제로는 본 논문의 방법론을 구조화하고 일반화하여 에이전트 개발을 위한 도구(Tool)로 만드는 것과 Peer-to-Peer 통신 및 협력 구조를 반영한 에이전트 기반 시스템 구조를 설계하는 것 등이 있다.

참 고 문 헌

- Bakos, Y. and Brynjolfsson, E., "Organizational partnerships and the virtual corporation," Chapter 4 in *Information Technology and Industrial Competitiveness: How Information Technology Shapes Competition*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- Bolloju, N., Khalifa, M. and Turban, E., "Integrating Knowledge Management into Enterprise Environments for the Next Generation Decision Support," *Decision Support Systems*, Vol. 33, 2002, pp. 163-176.
- Chang, Y. S. and Lee, J. K., "Case-based Modification for Optimization Agents: AGENT-OPT," *Decision Support Systems*, July 2002(Accepted).
- Clemons, E. K., Reddi, S. and Row, M. C., "The impact of information technology on the organization of economic activity: The 'move to the middle' hypothesis," *Journal of Management Information Systems*, Vol. 10, No. 2, 1993, pp. 9-35.
- Fensel, D., Horrocks, I., Harmelen, F., McGuinness, D. and Patel-Schneider, P., "OIL: An Ontology Infrastructure for the Semantic Web," *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 16, No. 2, March/April 2001.
- Finin, T., Labrou, Y. and Mayfield, J., "KQML as an Agent Communication Language," in *Software Agents*, Jeffrey Bradshaw (editor), AAAI/MIT Press, 1997.
- Fisher, K., Chaib-draa, B., Muller, J., Pischel, M. and Gerber, C., "A simulation approach based on negotiation and cooperation between agents: A Case Study," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol. 29, No. 4, 1999, pp. 531-545.
- Genesereth, M. et al., *Knowledge Interchange Format*, Technical Report, Logic-90-04, Dept. of Computer Science, Stanford University, 1990.
- Ginsberg, M., "Knowledge Interchange Format: The KIF of Death," *AI Magazine*, Vol. 12, No. 3, Fall 1991, pp. 57-63.
- Gong, L., "JXTA: A network programming environment," *IEEE Internet Computing*, Vol. 5, 2001, pp. 88-95.
- Kan, G., "Gnutella," Chapter 8 of *Peer-to-Peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies* (edited by Andy Oram), 2001.
- Lee, K. J. and Chang, Y. S., "Time-bound negotiation framework for multi-agent coordination," in *Multi-agent Platforms (Lecture Notes in Computer Science)*, Toru Ishida Ed. Springer-Verlag, Vol. 1599, 1999, pp. 61-75.
- Lee, K. J., Chang, Y. S., Choi, H. R., Kim, H. S., Park, Y. J. and Park, B. J., "Negotiation and Decision Making of Virtual Manufacturing Agent under Time-Bounded Environment," *Proceedings of International Conference on Electronic Commerce (ICEC 2001)*, Wien, Austria, 2001.
- Lee, K. J., Chang, Y. S. and Lee, J. K., "Time-bound negotiation framework for electronic commerce agents," *Decision Support Systems*, Vol. 28, 2000, pp. 319-331.
- Lee, J. K. and Kim, M. Y., "Knowledge-Assisted Optimization Model Formulation: UNIK-OPT," *Decision Support Systems*, Vol. 13, 1995.

- Lewis, M., "Designing for human-agent interaction," *AI Magazine*, Vol 19, No. 2, 1998, pp. 67-78.
- Malone, T., Yates, J. and Benjamin, R., "Electronic markets and electronic hierarchies," *Communications of the ACM*, June 1987, pp. 484-497.
- Maes, P., "Agents that Reduce Work and Information Overload," *Communications of the ACM*, Vol. 37, No. 7, July 1994, pp. 31-41.
- Manne, A., "On the job-shop scheduling problem," *Operations Research*, Vol. 8, No. 2, 1960.
- O'leary, D., "Impediments in the Use of Explicit Ontologies for KBS Development," *International Journal of Human Computer Studies*, Vol. 46, 1997, pp. 327-337.
- Sadeh, N., Hildum, D. and Kjenstad, D., "Intelligent e-supply chain decision support," *Proceedings of International Conference on Electronic Commerce*, 2000, pp. 124-132.
- Sandholm, T. and Lesser, V., "Issues in automated negotiation and electronic commerce: extending the contract net framework," *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems*, 1995, pp. 328-335.
- Sen, S. and Durfee, E., "The role of commitment in cooperative negotiation," *International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, Vol. 31, 1994, pp. 67-81.
- Smith, R., "The contract net protocol: high-level communication and control in a distributed problem solver," *IEEE Transactions on Computer*, Vol. 29, 1980, pp. 1104-1113.
- Steinmetz, E., Collins, J., Gini, M. and Mobasher, B., "An efficient anytime algorithm for multiple-component bid selection in automated contracting," *Proceedings of the Workshop on Agent Mediated Electronic Trading (AMET'98)*. in conjunction with the 2nd International Conference on Autonomous Agents, May 1998.
- Steinmetz, E., Collins, J., Jamison, S., Sundareswara, R., Mobasher, B. and Gini, M., "Bid evaluation and selection in MAGNET automated contracting system," in *Agent Mediated Electronic Trading, Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) 1571*. Springer-Verlag, 1999, pp. 105-125.
- Turban, E., McLean, E. and Wetherbe, J., *Information Technology for Management: Making Connections for Strategic Advantage*. Wiley, 2001.
- Yeom, K. and Lee, J. K., "Logical Representation of Integer Programming Models," *Decision Support Systems*, Vol. 18, 1996, pp. 227-251.

Agent-based System for Complex Decision Making and Negotiation: Application to Virtual Manufacturing

Kyoung Jun Lee* · Yong Sik Chang** · Hyung Rim Choi***
Hyun Soo Kim*** · Young Jae Park*** · Byung Joo Park***

Abstract

In an agent-based system, each agent has its own decision making capability and competes, cooperates, and communicates each other with an agent interface. Virtual manufacturing has characteristics as a typical application area of agent-based system: complex and time-bound decision making and negotiation. The time-boundness influences the choice of decision making models and design of protocols for internal and external negotiation. In this paper, we provide a case study which suggests a time-bound framework for external and internal negotiation between the agents for virtual manufacturing environment. We illustrate decision making model selection strategy and the system architecture of the agent-based system for the complex and time-bound environment.

Keywords: *Agent-Based System, Virtual Manufacturing Enterprise, Time-bound Negotiation, Multi-Agent Negotiation, Genetic Algorithm, Incremental Problem Solving*

* Graduate School of Public Administration, Seoul National University

** International Center for Electronic Commerce

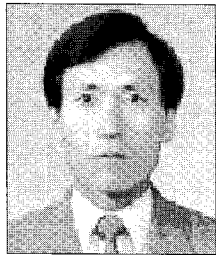
*** Department of MIS, Dong-A University

◎ 저 자 소 개 ◎



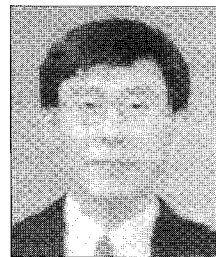
이 경 전 (leekj007@snu.ac.kr)

공동저자 이경전은 KAIST 경영과학과 학사와 석사, 산업경영학 박사학위를 취득하고, 서울대 행정대학원에서 석사학위를 취득하였다. 미국 카네기멜론대 초빙과학자, 국제 전자상거래 책임연구원, 고려대 경영대학 조교수, KAIST 산업공학과 초빙교수를 역임하였으며, 현재 서울대 행정대학원 초빙조교수로 재직중이다. 인공지능 응용, 에이전트 기반 전자상거래, 인터넷 사업 모형과 전자정부서비스 모형, Peer-to-Peer 컴퓨팅 분야 등에 논문을 발표하였다.



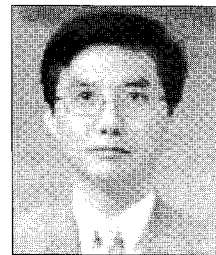
장 용 식 (yschang@iis.kaist.ac.kr)

공동저자 장용식은 서강대, 포항공대에서 물리학으로 학사, 석사 학위를, KAIST에서 경영공학 박사학위를 취득하였으며, 현재 (사)국제전자상거래연구센터(ICEC)에서 전자상거래에 대한 연구를 하고 있다. 포스데이타(주) 등 산업체에서 MIS 개발, KAIST와 ICEC에서 전자상거래 분야의 연구개발 및 컨설팅 경험이 있다. 주요 관심분야는 지능형 전자상거래시스템, 모형관리, 에이전트시스템 등이다.



최 형 림 (hrchoi@daunet.donga.ac.kr)

공동저자 최형림은 서울대학교 경영학과를 졸업하고, 한국과학기술원에서 경영정보시스템으로 석사 및 박사학위를 받았다. 1979년부터 1986년까지 한국과학기술원 경제분석실 연구원으로 근무하였으며, 1987년부터 동아대학교 경영정보과학부 교수로 재직중이다. 그리고 1999년 12월부터 2000년 11월까지 University of Texas at Austin의 Center for Research in Electronic Commerce에서 객원교수로 연구활동을 수행하였다. 주요 관심분야는 인공지능기술의 생산관리 및 경영관리에의 응용, 전자상거래 관련 기술 개발 등이다.



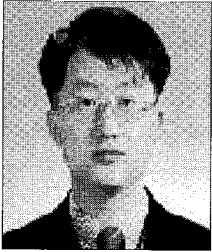
김 현 수 (hskim@daunet.donga.ac.kr)

공동저자 김현수는 서울대학교 경영대학을 졸업하고, 한국과학기술원(KAIST)에서 경영정보학 석사 및 박사를 취득하였고, University of Texas at Austin 객원교수와 현재 동아대학교 경영정보과학부 부교수로 재직하고 있다. 주요 관심분야는 멀티에이전트를 이용한 제조업 및 물류에서의 전자상거래 응용, 디지털 제품의 관점에서 정보시스템의 투자전략 등이며 지능정보시스템, 전자상거래 관련한 저서와 논문을 발표하고 있다.



박영재 (b990006@daunet.donga.ac.kr)

공동저자 박영재는 부산외국어대학교 경영정보학과를 졸업하고, 동아대학교 대학원 경영정보학과에서 석사학위를 취득하였으며 동 대학원에서 박사과정을 수료하였다. 주요경력으로는 1998년 7월부터 2000년 2월까지 과학기술부·한국 과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터 전임연구원으로 근무하였으며, BK21 핵심분야 동아대학교 에이전트 기반 전자상거래팀에서 연구를 수행하였다. 주요 관심분야는 기업간 전자상거래를 위한 지능형 기술의 활용이다.



박병주 (a967500@daunet.donga.ac.kr)

공동저자 박병주는 동아대학교 산업공학과에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하고, 동아대학교 BK21 에이전트 기반 전자상거래팀에서 박사후 과정을 연수하였다. 주요 관심분야는 Scheduling, 최적화 기법, Intelligent agent system 등이다